

ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КЛМПОНЕНТОВ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ЭНДОПРОТЕЗОВ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6

Нейман А.П.

Руководитель – проф., д.т.н., Мамонов А.М.

ФГБОУ ВПО «МАТИ – Российский государственный технологический университет имени К.Э Циолковского», г. Москва
mmkn@mail.ru

Надежность и высокие функциональные характеристики высоконагруженных ортопедических имплантатов, в частности эндопротезов крупных суставов, из титановых сплавов во многом определяются сопротивлением воздействию многоцикловых нагрузок и износостойкостью поверхностей трения искусственных суставов. Однако до настоящего времени возможность применения титановых сплавов в узлах трения медицинских имплантатов вызывала серьезные сомнения их разработчиков из-за высокого коэффициента трения титана в парах с любыми материалами (полимерными, металлическими, керамическими, биологическими) и низкой износостойкости.

В связи с этим проблема повышения долговечности имплантируемых деталей из титановых сплавов, работающих в условиях трения, остается актуальной научной и технологической задачей. При этом наиболее эффективным путем ее решения является комплексный подход к материаловедческим и технологическим проблемам, заключающийся в применении взаимосвязанных принципов выбора состава сплавов, разработки технологий формирования структуры изделий и способов модифицирования поверхности. Существенную роль играют и технологии формообразования деталей (механической обработки, полировки и др.), в частности, формирования микрогеометрии поверхностей трения.

К шаровым головкам бедренных компонентов тотальных эндопротезов предъявляются очень жесткие требования по геометрии поверхности. При диаметре готовой головки $28^{+0,05}_{-0,15}$ мм отклонение по сферичности не должно превышать 10 мкм, а параметр шероховатости R_a должен быть не более 0,05 мкм. Выполнение этих требований в совокупности с физико-механическими и биохимическими свойствами поверхности обеспечивает необходимые трибологические параметры пары трения и минимальный износ ее материалов – титанового сплава и сверхвысокомолекулярного полиэтилена.

Головки изготавливаются из горячекатаного прутка сплава ВТ6 диаметром 30 – 32 мм. Заготовки головок подвергаются термоводородной обработке для получения субмикроструктурной структуры и повышенной твердости (36 – 38 ед. HRC), что обеспечивает хорошую

обрабатываемость резанием и достижение достаточно высокой чистоты поверхности заготовки после точения. Применение современных токарных станков с ЧПУ позволяет добиться в заготовках требуемой сферичности и регламентированного припуска на шлифование и полирование.

Шлифование и полирование головок должны обеспечить необходимую шероховатость поверхности и соответствие сферичности и диаметра головки заданным значениям. Операции проводятся на специальном станке с применением рабочего инструмента, представляющего собой втулку («притир») с конической внутренней поверхностью, охватывающей сферу головки и покрытой абразивными материалами (на основе корунда – для шлифования и алмазной пастой – для полирования). Образующие поверхности конуса притира касательны к сфере головки в ее полюсе и на широте, ограничивающей сферу. Съем металла осуществляется при одновременном вращении заготовки головки и инструмента, прижимаемого к ней с небольшим регламентируемым усилием. При такой схеме интенсивность обработки (количество удаляемого металла в единицу времени) в каждой точке поверхности заготовки определяется:

- положением этой точки на сфере;
- направлением вращения головки и притира («встречное» или «попутное»);
- отношением n угловых скоростей вращения притира ω_n и головки ω_r

В качестве интегральной характеристики интенсивности обработки было принято расстояние, проходимое любой точкой поверхности головки в контакте с абразивом за один оборот головки.

Анализ полученных зависимостей интенсивности обработки от величины n показал, что с увеличением $n = \omega_n/\omega_r$ неравномерность съема металла в разных зонах головки возрастает (особенно при «попутном» вращении притира и головки). С другой стороны, при уменьшении n (фактически, при уменьшении ω_n) снижается производительность операций шлифования и полирования. В результате проведенных расчетов представляется целесообразным выбирать отношение n в пределах от 0,3 до 0,6 при встречном направлении вращения головки и притира.

Для окончательного выбора технологических параметров шлифования и полирования были проведены установочные эксперименты на головках из сплава ВТ6 диаметром 28 мм. Одновременно было исследовано влияние предварительной термоводородной обработки заготовок и их структуры на продолжительность и качество шлифования. Результаты исследования приведены в таблице.

Таблица

Результаты шлифования и полирования головок из сплава ВТ6 при различных технологических параметрах обработки и встречном направлении вращения головки и притира*

№	Обработка заготовки	Твердость заготовок, ед. HRC	Параметр n	R _a , мкм		Продолжительность шлифования и полирования, мин.	Максимальное отклонение от сферичности, мкм		
				после шлифования	после полирования		после точения	после шлифования	после полирования
1	ТВО + точение	38	0,3	0,4	0,02	32	5,0	7,5	8,0
2			0,5	0,4	0,03	27	5,3	8,5	9,0
3			1	0,3	0,03	24	5,2	12,0	-
4	Точение	30	0,5	0,8	** 0,09	65	Не измерялось вследствие неудовлетворительного качества поверхности		
5			1	0,7	** 0,08	60			

* В таблице приведены средние значения по 3 – 5 головкам, изготовленным из одного прутка. Диаметр всех исследованных головок после полирования находился в заданном поле допуска.

** Качество поверхности неудовлетворительное: следы наволакивания металла, отдельные царапины, матовые участки.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы.

1. В заготовках головок перед механической обработкой (чистовое точение, шлифование, полирование) должна быть сформирована субмикроструктурная структура, обеспечивающая высокую твердость, технологичность и достижение заданной микрогеометрии поверхности. Это реализуется с помощью термоводородной обработки заготовок. Кроме того, формируемое структурное состояние является оптимальным для эффективного финишного вакуумного ионно-плазменного азотирования, являющегося ключевым технологическим процессом, обеспечивающим уникальную износостойкость титановых головок.

2. При описанной технологии шлифования и полирования предпочтительным является встречное направление вращений притира и головки при соотношении их угловых скоростей вращения в интервале 0,3 – 0,5. Это позволяет обеспечить требуемые параметры шероховатости и сферичности головки при удовлетворительной производительности операций.